

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

15 DEC 2004

**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 22 DEC 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 006 694.9

**Anmeldetag:** 11. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer  
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem

**Priorität:** 14. Januar 2004 DE 10 2004 001 877.4

**IPC:** F 02 D 41/38

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 2. Dezember 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

5 02.02.2004 WKL/GGA  
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer  
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem

Stand der Technik

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein Computerprogramm  
und ein Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine  
mit einem Einspritzsystem, insbesondere für ein  
20 Kraftfahrzeug. Darüber hinaus betrifft die Erfindung einen  
Datenträger mit diesem Computerprogramm und eine  
Brennkraftmaschine mit diesem Steuergerät.

Aus dem Stand der Technik, insbesondere der DE 101 31 507  
A1, ist ein derartiges Verfahren und Steuergerät  
grundsätzlich bekannt. Es wird dort ein Einspritzsystem für  
eine Brennkraftmaschine offenbart, bei dem Kraftstoff von  
einer Zumesseinheit und einer Hochdruckpumpe in einen  
Kraftstoffspeicher gefördert wird. Das dort offenbarte  
30 Einspritzsystem umfasst weiterhin zwei Regelkreise zum  
Regeln des Druckes in dem Kraftstoffspeicher. Ein erster  
Regelkreis sieht vor, diesen Druck durch eine geeignete  
Ansteuerung eines Druckregelventils auf der Hochdruckseite  
des Einspritzsystems zu regeln. Ein zweiter Regelkreis  
35 sieht vor, den Druck in dem Kraftstoffspeicher durch

geeignetes Ansteuern der Zumesseinheit auf der Niederdruckseite des Einspritzsystems zu regeln. Um Ungenauigkeiten bei der hochdruckseitigen Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher, welche auf Fertigungstoleranzen bei der Serienfertigung des Druckregelventils zurückzuführen sind, möglichst gering zu halten, wird in der genannten Offenlegungsschrift ein Verfahren zur Generierung einer individuellen Kennlinie offenbart, welche das reale Verhalten eines individuellen Druckregelventils repräsentiert. Das Druckregelventil wirkt dann im Rahmen des ersten Regelkreises vorzugsweise gemäß dieser individuellen Kennlinie anstatt gemäß einer angenäherten beziehungsweise normierten Kennlinie angesteuert.

Ungenauigkeiten können auch bei der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher durch den zweiten Regelkreis entstehen. Dies gilt beispielsweise dann, wenn das Verhalten einer real verwendeten Zumesseinheit aufgrund von Fertigungstoleranzen von einem erwarteten Verhalten einer normierten Zumesseinheit abweicht.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik ist es deshalb die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren Computerprogramm und Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem bereitzustellen, welche eine Berücksichtigung des individuellen Verhaltens einzelner Zumesseinheiten bei deren Betrieb ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch das in Patentanspruch 1 beanspruchte Verfahren gelöst. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das

reale Verhalten der Zumesseinheit repräsentiert, für die Ansteuerung der Zumesseinheit ermittelt wird.

#### Vorteile der Erfindung

5

10

15

Die erfindungsgemäß generierte individuelle Kennlinie spiegelt das reale Verhalten einer tatsächlich verwendeten Zumesseinheit wesentlich präziser wieder als eine Norm-Kennlinie, welche typischerweise das statistisch gemittelte Verhalten einer großen Vielzahl von gefertigten Zumesseinheiten mit jeweils unterschiedlichen Fertigungstoleranzen repräsentiert. Wenn die aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelte individuelle Kennlinie für die tatsächlich verwendete Zumesseinheit bei der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher verwendet wird, so ist diese Regelung wesentlich präziser, als wenn sie anhand der Norm-Kennlinie erfolgen würde.

20

Die Kennlinie repräsentiert üblicherweise die von der Zumesseinheit für die Hochdruckpumpe bereitgestellte Kraftstoffmenge beziehungsweise den Mengenstrom in Abhängigkeit von der Größe ihres elektrischen Ansteuerstromes.

30

35

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, die individuelle Kennlinie durch Interpolation von mindestens zwei ermittelten Stützpunkten für diese Kennlinie zu generieren. Zur Ermittlung eines solchen Stützpunktes umfasst das Verfahren folgende Schritte: Betreiben der Brennkraftmaschine in einem geeignet vorbestimmten Referenzbetriebspunkt; und Ermitteln des vorläufigen Stützpunktes der individuellen Kennlinie für den Referenzbetriebspunkt als Wertepaar umfassend den von der Zumesseinheit in dem Referenzbetriebspunkt für die Hochdruckpumpe bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom und

den zugehörigen elektrischen Ansteuerstrom.

5 Es ist vorteilhaft, dass diese Ermittlung der einzelnen  
Stützpunkte erst dann durchgeführt wird, wenn die  
Brennkraftmaschine bei Betrieb in dem Referenzpunkt eine  
vorbestimmte Mindesttemperatur erreicht hat. Der Vorteil  
ist darin zu sehen, dass erst dann der  
Referenzbetriebspunkt stabil ist. Die bei stabilem  
10 Referenzbetriebspunkt ermittelten Stützwerte bilden das  
reale Verhalten einer tatsächlich verwendeten Zumesseinheit  
präziser ab, als Stützpunkte, welche bei einem instabilen  
beziehungsweise noch schwankenden Referenzbetriebspunkt  
ermittelt wurden.

15 Die Präzision, mit welcher die ermittelten Stützpunkte das  
reale Verhalten einer Zumesseinheit widerspiegeln, kann  
dadurch weiter verbessert werden, dass sie mit Hilfe des  
beschriebenen Verfahrens zunächst nur vorläufig festgelegt  
20 werden. Es ist dann empfehlenswert, einer Mehrzahl von  
vorläufigen Stützpunkten für ein und denselben  
vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch mehrfaches  
Wiederholen der aufgezeigten Verfahrensschritte zu  
ermitteln, um dann durch geeignete Filterung dieser  
Mehrzahl von Stützpunkten einen endgültigen Stützpunkt zu  
ermitteln, welcher das reale Verhalten der Zumesseinheit  
noch präziser repräsentiert.

30 Die für die Interpolation der zu ermittelnden individuellen  
Kennlinie verwendeten Stützpunkte werden vorteilhafterweise  
für unterschiedliche Betriebszustände der  
Brennkraftmaschine, wie beispielsweise Leerlauf oder  
Volllastbetrieb, ermittelt. Auch ist es empfehlenswert, die  
Generierung der Stützpunkte für solche Betriebszustände

vorzusehen, in denen die Brennkraftmaschine am häufigsten betrieben wird.

Erfindungsgemäß wird ein Unterschied zwischen der Norm-  
5 Kennlinie und der ermittelten individuellen Kennlinie  
berechnet. Der Druck als Regelgröße wird mit Hilfe einer  
Korrekturkennlinie, welche diesen Unterschied  
repräsentiert, bereinigt. Vorteilhafterweise kann die  
10 bereinigte Stellgröße wesentlich präziser, das heißt durch  
enger vorgegebene Mengenstrom-Grenzwerte überwacht werden  
als die nicht bereinigte Regelgröße. Der Grund dafür ist  
darin zu sehen, dass die Druck-Schwellenwerte für die  
bereinigte Regelgröße eventuelle Schwankungen der  
15 Regelgröße aufgrund des eventuell abweichenden Verhaltens  
der real verwendeten Zumesseinheit gegenüber einem  
Normverhalten nicht berücksichtigen muss.

Erfindungsgemäß wird ein Unterschied zwischen der Norm-  
Kennlinie und der ermittelten individuellen Kennlinie  
20 berechnet. Der Mengenstrom als Stellgröße (von der  
Zumesseinheit bereitgestellte Kraftstoffmenge) wird mit  
Hilfe einer Korrekturkennlinie, welche diesen Unterschied  
repräsentiert, bereinigt. Vorteilhafterweise kann die  
bereinigte Stellgröße wesentlich präziser, das heißt durch  
30 enger vorgegebene Mengenstrom-Grenzwerte, überwacht werden,  
als die nicht bereinigte Stellgröße. Der Grund dafür ist  
darin zu sehen, dass die Mengenstrom-Grenzwerte für die  
bereinigte Stellgröße die Abweichung aufgrund des eventuell  
abweichenden Verhaltens der real verwendeten Zumesseinheit  
gegenüber einem Normverhalten nicht berücksichtigen muss.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind  
Gegenstand der Unteransprüche.

Die oben genannte Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Computerprogramm und ein Steuergerät zum Durchführen dieses Verfahrens sowie durch einen Datenträger mit dem Computerprogramm und eine Brennkraftmaschine mit dem Steuergerät gelöst. Die Vorteile dieser Lösungen entsprechen den oben mit Bezug auf das beschriebene Verfahren genannten Vorteilen.

#### Zeichnungen

10

Der Beschreibung sind insgesamt sechs Figuren beigelegt, wobei

15

Figur 1 den Aufbau eines Einspritzsystems für eine Brennkraftmaschine;

Figur 2 eine fehlerhafte Ansteuerung einer Zumesseinheit;

20

Figur 3 das erfindungsgemäße Verfahren;

Figur 4 den erfindungsgemäßen Aufbau eines Steuergerätes;

Figur 5 eine erfindungsgemäß generierte, individuelle Kennlinie für eine Zumesseinheit mit korrigierter Ansteuerung; und

Figur 6 das Druckregelverhalten des Einspritzsystems, insbesondere bei Verwendung der individuellen Kennlinie für die Zumesseinheit

30

veranschaulicht.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird nachfolgend in Form von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die genannten Figuren detailliert beschrieben.

5 Figur 1 zeigt ein Einspritzsystem 100 für eine Brennkraftmaschine (hier nicht gezeigt), wie es der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt. Es umfasst einen Kraftstofftank 110, aus dem mit Hilfe einer elektrischen Kraftstoffpumpe 120 Kraftstoff zu einer Zumesseinheit 130  
10 gefördert wird. Die Zumesseinheit 130 stellt im Ansprechen auf ein Regelsignal  $z$  eine bestimmte Kraftstoffmenge für eine nachgeschaltete Hochdruckpumpe 140 bereit. Die Hochdruckpumpe pumpt den Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher 150. In dem Kraftstoffspeicher 150 wird  
15 der Kraftstoff unter hohem Druck gespeichert, um auf Abruf für Einspritzventile 160 der Brennkraftmaschine zur Verfügung zu stehen. Die Größe des Druckes in dem Kraftstoffspeicher wird mit Hilfe eines Drucksensors 170 gemessen. Der Drucksensor 170 übermittelt den gemessenen  
20 Druck in dem Kraftstoffspeicher 150 in Form eines Messsignals  $p$  an ein Steuergerät 180 des Einspritzsystems 100. Im Rahmen der Erfindung fungiert das Steuergerät 180 im Wesentlichen als Druckregler zum Regeln des Druckes in dem Kraftstoffspeicher 150 im Ansprechen auf das Messsignal  $p$  unter Berücksichtigung unter anderem der jeweils  
aktuellen Drehzahl  $N$  und der aktuellen Betriebstemperatur  $T$  der Brennkraftmaschine.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren zur  
30 Generierung der individuellen Kennlinie  $iKL$  beziehungsweise der korrigierten Kennlinie detailliert beschrieben.

Dazu wird in Figur 2 zunächst ein Fehler veranschaulicht, der bei Ansteuerung der real verwendeten Zumesseinheit 130  
35 auf Basis einer falschen Kennlinie entsteht. Dazu ist in



Figur 2 ein Kraftstrom-Mengenstrom  $Q$  der Zumesseinheit, gemessen zum Beispiel in Litern pro Stunde, aufgetragen über deren elektrischem Ansteuerstrom  $I$ . Anders ausgedrückt, ist in Figur 2 derjenige Ansteuerstrom  $I$  für eine Zumesseinheit zu erkennen, der die Zumesseinheit veranlasst, eine gewünschte Menge beziehungsweise einen gewünschten Mengenstrom an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe 140 bereitzustellen. Diese Menge hängt jedoch ganz entscheidend von dem Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130 ab, wie dies in Figur 2 veranschaulicht ist und nachfolgend erläutert wird.

Es sind in Figur 2 zwei Kennlinien dargestellt, wobei die erste eine Norm-Kennlinie  $nKL$  und die zweite eine individuelle Kennlinie  $iKL$  repräsentiert. Die Norm-Kennlinie  $nKL$  repräsentiert üblicherweise das statistisch gemittelte Verhalten einer Vielzahl von Zumesseinheiten mit unterschiedlichen Fertigungstoleranzen. Demgegenüber repräsentiert die individuelle Kennlinie  $iKL$  das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130. Der Tatsache, dass die individuelle Kennlinie in Figur 2 oberhalb der Norm-Kennlinie liegt, ist zu entnehmen, dass die tatsächlich verwendete Zumesseinheit 130 bei gleichem Ansteuerstrom  $I$  eine größere Kraftstoffmenge bereitstellt, als dies eine normierte Zumesseinheit tun würde. Dies ist in Figur 2 an folgendem Beispiel veranschaulicht:

Wenn die Druckregleinrichtung 184 (siehe Figur 4) aufgrund einer aktuellen Druckregelabweichung  $e$  einen durch die Zumesseinheit 130 bereitzustellenden Mengenstrombedarf von 120 Litern feststellt (1), dann wäre es unter Zugrundelegung der Norm-Kennlinie  $nKL$ , das heißt eines normierten Verhaltens der Zumesseinheit 130, erforderlich, diese mit einem Ansteuerstrom von 1 A anzusteuern (2).

Weil jedoch die bei dem Beispiel in Figur 2 tatsächlich verwendete Zumesseinheit in ihrem Verhalten von der Norm abweicht, würde die tatsächlich verwendete Zumesseinheit 130 bei Ansteuerung mit einem Strom von 1 A tatsächlich nicht die geforderten 120 Liter pro Stunde, sondern stattdessen einen Mengenstrom von cirka 138 Litern pro Stunde an Kraftstoff für die Hochdruckpumpe 140 bereitstellen (3). Diese aus Sicht der Druckregelung fehlerhafte Ansteuerung der Zumesseinheit würde zu einem unerwünschten Druckanstieg in dem Kraftstoffspeicher führen, welcher von dem Drucksensor 170 erfasst und dem Steuergerät 180 als neuer Ist-Druck über das Messsignal p zugeführt würde. Die Druckregelung in dem Steuergerät 180 würde dann versuchen, diese unerwünschte Drucküberhöhung in Form eines Fehlerausgleichs über einen Integrationsanteil in der Druckregleinrichtung 184 zu kompensieren (4), was letzten Endes bei alleiniger Zugrundelegung der falschen Norm-Kennlinie nKL zu einer erneut falschen, von der Zumesseinheit bereitgestellten, Kraftstoffmenge führen würde (5). Der auf diese Weise durch die Druckregleinrichtung 184 bei der Zumesseinheit 130 eingestellte Mengenstrom läge in diesem Fall sogar unterhalb der ursprünglich gewünschten 120 Liter pro Stunde, weil die Regleinrichtung davon ausgehen musste, dass der ursprünglich eingestellte Wert (3) zu hoch war.

Um derartige Instabilitäten bei der Regelung des Druckes in einem Kraftstoffspeicher 150 über eine Volumenstromregelung mit Hilfe der Zumesseinheit 130 auf der Niederdruckseite zu vermeiden, wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Generierung der individuellen Kennlinie vorgeschlagen. Die Ermittlung der individuellen Kennlinie gemäß Figur 3 bezieht sich auf ein Steuergerät, bei dem zunächst noch keine Korrekturkennlinie oder Filtereinrichtung vorhanden ist, sondern der Ausgang der Druckregleinrichtung direkt

zur Ansteuerung der Zumesseinheit 130 verwendet wird, welche im Unterschied zu der Normkennlinie das reale Verhalten der Zumesseinheit 130 wesentlich präziser repräsentiert; siehe Figur 2.

5

Dazu ist es zunächst erforderlich, die Brennkraftmaschine mit dem Einspritzsystem in Betrieb zu nehmen und zunächst abzuwarten, bis die Betriebstemperatur der Brennkraftmaschine über eine vorgegebene Mindesttemperatur T angestiegen ist. Erst dann wird gemäß Verfahrensschritt S0 eine sogenannte Lernfunktion gestartet. Die Lernfunktion bezeichnet eine Art Betriebsmodus des Steuergerätes 180, welcher die Generierung der individuellen Kennlinie iKL vorzugsweise parallel zu einem normalen Betrieb der Brennkraftmaschine ermöglicht. Im Rahmen dieser Lernfunktion wird dann gemäß einem Verfahrensschritt S1 vorzugsweise kontinuierlich der aktuelle Betriebszustand der Brennkraftmaschine daraufhin überprüft, ob, beziehungsweise wann, einer von in der Regel mehreren vorbestimmten Referenzbetriebspunkten von der Brennkraftmaschine eingenommen wird. Jeder dieser Referenzbetriebspunkte ist typischerweise durch einen vorbestimmten Druck in dem Kraftstoffspeicher, eine vorbestimmte Einspritzmenge in die Brennkammern der Brennkraftmaschine und/oder durch eine vorbestimmte Drehzahl N der Brennkraftmaschine definiert. Die Referenzbetriebspunkte sind vorteilhafterweise auf verschiedene Betriebszustände der Brennkraftmaschine verteilt. Bei diesen Betriebszuständen handelt es sich vorteilhafterweise um solche, welche die Brennkraftmaschine aufgrund ihrer jeweiligen Verwendung, beziehungsweise ihres jeweiligen Einsatzspektrums, besonders häufig einnimmt.

30

Wenn dann in Verfahrensschritt S2' festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine aktuell in einem ersten

35

vorbestimmten Referenzpunkt betrieben wird, dann wird der aktuelle Wert des Regelsignals  $x$  am Ausgang der Druckregeleinrichtung 184 erfasst (siehe Figur 4) und zwischengespeichert. Außerdem wird ein zugehöriger Kraftstoff-Mengenstrom ermittelt. Dies geschieht in Verfahrensschritt S3. Analog wird vorgegangen, wenn in Verfahrensschritt S2' festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine aktuell zwar nicht in dem ersten Referenzbetriebspunkt, aber in einem zweiten oder dritten Referenzbetriebspunkt betrieben wird, was in den Verfahrensschritten S2'' und S2''' geprüft wird.

Das Regelsignal  $x$  wird in einem erkannten Referenzbetriebspunkt nicht nur einmal, sondern vorzugsweise mehrfach abgetastet, so dass in Verfahrensschritt S3 nicht nur ein einzelner Wert, sondern eine Mehrzahl von Werten für das Regelsignal  $x$  für jeweils einem Referenzbetriebspunkt zur Verfügung steht.

In Verfahrensschritt S4 werden die abgetasteten Werte für das Regelsignal  $x$  dann gefiltert, das heißt zum Beispiel dahingehend beobachtet beziehungsweise ausgewertet, inwieweit sie einen stabilisierten Wert für das Regelsignal  $x$  in dem aktuell eingenommenen Referenzbetriebspunkt repräsentieren. Diese Auswertung kann zum Beispiel in der Weise erfolgen, dass geprüft wird, ob die abgetasteten Werte innerhalb einer vordefinierten  $\varepsilon$ -Umgebung um einen Grenzwert liegen. Wenn sich bei einer derartigen Auswertung zeigt, dass die Abtastwerte des Regelsignals noch zu sehr schwanken und kein stabilisierter Wert erkennbar ist, dann wird von Verfahrensschritt S4 auf Verfahrensschritt S1 zurückverzweigt, wobei sich dann die Verfahrensschritte S2, S3 und S4 wiederholen. Alternativ zu einer Grenzwertbetrachtung können bei der Filterung die

abgetasteten Werte in Schritt S4 auch einer Stabilisierung durch Mittelwertbildung unterzogen werden.

5 Wenn am Ende von Verfahrensschritt S2''' festgestellt wurde, dass die Brennkraftmaschine aktuell in keinem der Referenzbetriebspunkte betrieben wird, verzweigt das Verfahren ebenfalls wieder nach Verfahrensschritt S1.

10 Wenn jedoch in Verfahrensschritt S4 erkannt wird, dass die abgetasteten Werte für das Regelsignal  $x$  tatsächlich einen stabilen Wert repräsentieren, dann wird dieser Wert als endgültiger Stützpunkt für den jeweiligen Referenzpunkt auf der individuellen Kennlinie für die jeweils tatsächlich verwendete Zumesseinheit definiert. Diese Definition  
15 erfolgt in Verfahrensschritt S5. Der jeweilige Referenzpunkt, für den ein stabilisiertes Regelsignal definiert wurde, gilt dann im Rahmen der Lernfunktion als gelernt.

20 Im Verfahrensschritt S6 wird dann nachfolgend geprüft, ob bereits alle Referenzpunkte als gelernt gelten oder nicht. Wenn dem nicht so ist, verzweigt das Verfahren gemäß Figur 3 wieder zurück auf Verfahrensschritt S1, wo dann erneut im Zusammenwirken mit den Verfahrensschritten S2', S2'' und S2''' geprüft wird, ob sich die Brennkraftmaschine in einem der Referenzpunkte befindet, für die noch kein stabilisiertes Regelsignal  $z$  definiert wurde. Für diese Referenzbetriebspunkte werden dann die Verfahrensschritte S3, S4, S5 und S6 erneut durchlaufen. Wenn jedoch in  
30 Verfahrensschritt S6 festgestellt wird, dass alle oder eine zumindest ausreichende Anzahl von Referenzbetriebspunkten gelernt wurde, dann wird gemäß Verfahrensschritt S7 die individuelle Kennlinie iKL für die jeweils real verwendete Zumesseinheit 130 durch Interpolation der endgültigen  
35 Stützstellen ermittelt. Die bei der Interpolation

auftretenden Knicke in der individuellen Kennlinie können dann durch Extrapolation geglättet werden.

Die gemäß Verfahrensschritt S7 ermittelte individuelle  
 5 Kennlinie für die Zumesseinheit 130 wird dann vorzugsweise in das Steuergerät 180 implementiert und zur präzisen Ansteuerung der Zumesseinheit 130 verwendet.

Alternativ zu dieser Vorgehensweise besteht auch die  
 10 Möglichkeit, aus der so ermittelten individuellen Kennlinie eine Korrekturkennlinie herzuleiten, welche die Unterschiede in dem Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit gegenüber einer normierten Zumesseinheit repräsentiert. Diese Korrekturkennlinie lässt sich einfach  
 15 durch Differenzbildung zwischen der individuellen und der Normkennlinie, insbesondere an den die einzelnen Referenzbetriebspunkte repräsentierenden Stützstellen, ermitteln.

20 Mit der Kenntnis dieser Korrekturkennlinie kann dann ein wie bisher auf Basis der Normkennlinie generiertes Regelsignal  $x$  zur Ansteuerung der Zumesseinheit korrigiert werden. Dazu wird das Steuergerät 180 vorzugsweise als Druckregler gemäß Figur 4 ausgebildet.

Als solcher umfasst es eine erste Subtraktionseinrichtung 182 zum Erzeugen einer Druckregelabweichung  $e$  als Differenz zwischen dem durch das Messsignal  $p$  repräsentierten Ist-Druck und einem vorgegebenen Soll-Druck  $p_{soll}$  in dem  
 30 Kraftstoffspeicher 150. Das Steuergerät umfasst weiterhin die Druckregleinrichtung 184 zum Empfangen der Regelabweichung  $e$  und zum Generieren eines Regelsignals  $x$  nach Maßgabe durch die Regelabweichung  $e$  und unter Zugrundelegung einer Norm-Kennlinie Kraftstoff-  
 35 Mengenstrom/elektrischer Ansteuerstrom für die

Zumesseinheit 130. Das Regelsignal  $x$  repräsentiert die in Anbetracht der aktuellen Druck-Regelabweichung  $e$  von der Zumesseinheit 130 für die Hochdruckpumpe 140 bereitzustellende Kraftstofffördermenge, welche

5 erforderlich ist, um die Regelabweichung zu Null zu machen. Neben der Norm-Kennlinie ist in dem Steuergerät 180 auch eine gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zu generierende Korrekturkennlinie hinterlegt. Sie dient zum Ermitteln eines Korrekturanteils für das Regelsignal  $x$ , welcher ein

10 eventuell unterschiedliches Ansteuer- und Förderverhalten der real verwendeten Zumesseinheit 130 gegenüber einer normierten Zumesseinheit repräsentiert. Mit Hilfe einer zweiten Additions- beziehungsweise Subtraktionseinrichtung 187 generiert das Steuergerät 180 dann ein korrigiertes

15 Regelsignal  $y$  für die Zumesseinheit 130. Mit Hilfe der zweiten Additions- oder Subtraktionseinrichtung wird das Regelsignal  $x$  mit dem Korrekturanteil zu dem korrigierten Regelsignal  $y$  verknüpft, welches einen korrigierten Mengenwunsch für die durch die Zumesseinheit 130

20 bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert. Vorteilhafterweise umfasst das Steuergerät 180 weiterhin eine Filtereinrichtung 188 zum Generieren eines stabilisierten korrigierten Regelsignals  $z$  aus dem korrigierten Regelsignal  $y$  zum Ansteuern der Zumesseinheit 130.

Bei dem soeben beschriebenen Aufbau des Steuergerätes 180 als Druckregler wurde vorausgesetzt, dass in dem Steuergerät und insbesondere in der Druckregeleinrichtung

30 184 eine Norm-Kennlinie für Zumesseinheiten hinterlegt ist. Zusätzlich ist erfindungsgemäß die Korrekturkennlinie 186 hinterlegt, zum Anpassen der Norm-Kennlinie an das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130. Durch die mathematische Verknüpfung dieser beiden

35 Kennlinien wird praktisch die neue, individuelle Kennlinie

generiert, welche das reale Verhalten der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit repräsentiert. Diese individuelle Kennlinie liegt letzten Endes dem berechneten, korrigierten Regelsignal  $y$  zugrunde.

5

In Figur 5 sind die Auswirkungen der Verwendung der individuellen Kennlinie  $i_{KL}$  beziehungsweise der Norm-Kennlinie  $n_{KL}$  unter Berücksichtigung der Korrekturkennlinie (nicht gezeigt) auf das Druckregelverhalten des Einspritzsystems veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass, wenn die Druckregeleinrichtung 184 einen bestimmten Mengenstrombedarf  $Q$  zum Ausregeln einer aktuell festgestellten Druckregelabweichung  $e$  ermittelt hat, zum Beispiel 118 Liter pro Stunde (1), dann wird dieser Mengenbedarf zunächst gemäß der gelernten Korrekturkennlinie abgeändert (2). Mit diesem korrigierten Mengenbedarf wird dann aus der in dem Steuergerät 180 hinterlegten Norm-Kennlinie  $n_{KL}$  derjenige elektrische Sollstrom ermittelt, der zum Ausgleich der festgestellten Regelabweichung  $e$  für die Ansteuerung der tatsächlich verwendeten Zumesseinheit 130 erforderlich ist. Dass es sich bei diesem Strom, der in Figur 5 beispielhaft einen Wert von 1,07 A hat, tatsächlich um den richtigen Strom handelt, ist in Figur 5 dadurch zu erkennen, dass sich für genau diesen Strom bei Zugrundelegung der individuellen Kennlinie  $i_{KL}$  genau der benötigte Mengenstrombedarf von 118 Litern pro Stunde ergibt (3).

In Figur 6 sind die Auswirkungen der Verwendung der individuellen Kennlinie beziehungsweise der Norm-Kennlinie bei zusätzlicher Berücksichtigung der Korrekturkennlinie auf den Druck in dem Kraftstoffspeicher 150 zu erkennen. Der Ausgang der Druckregeleinrichtung 184 ohne Korrektur D, das heißt das Regelsignal  $x$ , ist wesentlich instabiler als der Reglerausgang mit nachgeschalteter Korrektur C, welcher

35



das Regelsignal  $y$  repräsentiert; die Instabilität zeigt sich in größeren Amplitudenschwankungen. Dementsprechend sind auch die Schwankungen des Druckes in dem Kraftstoffspeicher 150 ohne Korrektur A, das heißt bei Ansteuerung der Zumesseinheit 130 direkt durch das Regelsignal  $x$  wesentlich größer als die Druckschwankungen B bei Ansteuerung der Zumesseinheit mit dem korrigierten Regelsignal  $y$  oder sogar dem stabilisierten Regelsignal  $z$ .

- 10 Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in Form eines Computerprogramms realisiert. Dieses Computerprogramm kann dann gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen zur Steuerung und/oder Regelung des Einspritzsystems der Brennkraftmaschine auf einem Computer lesbaren Datenträger abgespeichert sein. Bei dem
- 15 Datenträger kann es sich um eine Diskette, eine Compact-Disc, einen sogenannten Flash-Memory oder dergleichen handeln. Das auf dem Datenträger abgespeicherte Computerprogramm kann dann als Produkt an einen Kunden
- 20 verkauft werden.

Alternativ zu einer Übertragung per Datenträger kann die Übertragung auch über ein elektronisches Kommunikationsnetzwerk, insbesondere das Internet, erfolgen.

R.306438-1

5 02.02.2004 WKL/GGA  
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem (100), insbesondere für ein Kraftfahrzeug, bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit (130) geregelt wird;  
**dadurch gekennzeichnet, dass**
- 20 während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie (iKL), welche das reale Verhalten der Zumesseinheit repräsentiert, für die Ansteuerung der Zumesseinheit (130) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung eines vorzugsweise zunächst nur vorläufigen Stützpunktes für die individuellen Kennlinie, welche den von der Zumesseinheit (130) für die Hochdruckpumpe bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom (Q) in Abhängigkeit ihres Ansteuerstromes (I) repräsentiert,
- 30 folgende Schritte umfasst:

Betreiben der Brennkraftmaschine in einem geeignet vorbestimmten Referenzbetriebspunkt; und  
Ermitteln des vorläufigen Stützpunktes der individuellen Kennlinie für den Referenzbetriebspunkt als Wertepaar

umfassend den von der Zumesseinheit (130) in dem Referenzbetriebspunkt für die Hochdruckpumpe (140) bereitgestellten Kraftstoff-Mengenstrom und den zugehörigen elektrischen Ansteuerstrom.

- 5    3.    Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des vorläufigen Stützpunktes erst dann durchgeführt wird, wenn die Brennkraftmaschine bei Betrieb in dem Referenzbetriebspunkt einen vorbestimmten Mindesttemperatur-Schwellenwert überschritten hat.

4.    Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

15    Ermitteln einer Mehrzahl von vorläufigen Stützpunkten für ein und denselben vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch Mehrfaches Wiederholen der Verfahrensschritte nach Anspruch 2; und

Ermitteln eines endgültigen Stützpunktes für den vorbestimmten Referenzbetriebspunkt durch Filtern der Mehrzahl der vorläufigen Stützpunkte.

- 20    5.    Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterung in einer Mittelwertbildung oder in einer Auswertung der ermittelten vorläufigen Stützpunkte hinsichtlich der Frage besteht, ob die vorläufigen Stützpunkte innerhalb einer vordefinierten  $\varepsilon$ -Umgebung um  
25    einen Grenzwert liegen, wobei dann der Grenzwert als endgültiger Stützpunkt definiert wird.

6.    Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der individuellen Kennlinie folgende Schritte umfasst:

- 30    Ermitteln von mindestens zwei endgültigen Stützpunkten für die individuelle Kennlinie durch Wiederholen der Schritte nach Anspruch 2 für unterschiedliche geeignet ausgewählte

Referenzbetriebspunkte; und  
Ermitteln der individuellen Kennlinie für die real  
verwendete Zumesseinheit (130) durch Interpolieren der  
mindestens zwei Stützpunkte und vorzugsweise Extrapolieren  
5 von aus der Interpolation mehrerer Stützpunkte  
resultierender Knickpunkte der individuellen Kennlinie.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch  
gekennzeichnet, dass jeder Referenzbetriebspunkt durch  
einen vorbestimmten Druck im Kraftstoffspeicher, eine  
10 vorbestimmte Einspritzmenge und/oder eine vorbestimmte  
Drehzahl der Brennkraftmaschine definiert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch  
gekennzeichnet, dass die einzelnen Referenzbetriebspunkte  
zur Ermittlung einer einzelnen individuellen Kennlinie  
15 fahrzeugabhängig in unterschiedliche Betriebszustände der  
Brennkraftmaschine, wie beispielsweise Leerlauf oder  
Volllast oder maximales Drehmoment, gelegt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch  
gekennzeichnet, dass die einzelnen Referenzbetriebspunkte  
20 zur Ermittlung einer einzelnen individuellen Kennlinie  
fahrzeugabhängig in solche Betriebszustände der  
Brennkraftmaschine gelegt werden, in denen die  
Brennkraftmaschine bei Einbau in ein Fahrzeug am häufigsten  
betrieben wird.

25 10. Computerprogramm mit Programmcode, dadurch  
gekennzeichnet, dass der Programmcode ausgebildet ist zur  
Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis  
9.

11. Datenträger gekennzeichnet durch das Computerprogramm  
30 nach Anspruch 10.

12. Steuergerät (180) für eine Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem (100), insbesondere für ein Kraftfahrzeug, bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit geregelt wird;

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Steuergerät (180) ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das reale Verhalten der Zumesseinheit (130) repräsentiert, zu ermitteln.

13. Steuergerät (180) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine Korrekturkennlinie zu ermitteln, welche den Unterschied zwischen dem Verhalten der real verwendeten gegenüber einer normierten Zumesseinrichtung repräsentiert, und die individuelle Kennlinie (iKL) durch Superposition der Korrekturkennlinie mit einer das Verhalten einer normierten Zumesseinheit repräsentierenden Norm-Kennlinie (nKL) zu ermitteln.

14. Steuergerät (180) nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät ausgebildet ist, die Zumesseinheit (130) unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten individuellen Kennlinie (iKL) anzusteuern.

15. Steuergerät (180) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät umfasst: eine Drückregleinrichtung (184) zum Empfangen einer Regelabweichung (e) als Differenz zwischen einem Ist-Druck und einem Soll-Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) und zum Generieren eines Regelsignals (x) nach Maßgabe durch die Regelabweichung (e) unter Zugrundelegung einer Norm-

Kennlinie (nKL) für die Zumesseinheit (130), wobei das Regelsignal (x) die in Anbetracht der Regelabweichung (e) von der Zumesseinheit (130) für die Hochdruckpumpe (140) bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert;

- 5 die hinterlegte Korrekturkennlinie (186) zum Ermitteln eines Korrekturanteils für das Regelsignal (x), welcher ein eventuell unterschiedliches Ansteuer- und Förderverhalten der real verwendeten gegenüber der normierten Zumesseinheit repräsentiert;
- 10 eine Additions- oder Subtraktionseinrichtung (187) zum Generieren eines korrigierten Regelsignals (y) für die Zumesseinheit (130) durch mathematisches Verknüpfen des Regelsignals (x) mit dem Korrekturanteil, wobei das korrigierte Regelsignal (y) einen korrigierten Mengenwunsch
- 15 für die durch die Zumesseinheit (130) bereitzustellende Kraftstofffördermenge repräsentiert.

16. Steuergerät nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät weiterhin eine Filtereinrichtung (188) aufweist zum Generieren eines
- 20 stabilisierten Regelsignals (z) für die Zumesseinheit (130) durch Filtern des korrigierten Regelsignals (y).

17. Brennkraftmaschine, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit einem Einspritzsystem (100) bei dem Kraftstoff von einer Zumesseinheit (130) und einer
- 25 Hochdruckpumpe (140) in einen Kraftstoffspeicher (150) gefördert wird, und bei dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher (150) erfasst und durch Ansteuerung der Zumesseinheit durch ein Steuergerät (180) geregelt wird;
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- 30 das Steuergerät (180) ausgebildet ist, während des Betriebs der Brennkraftmaschine eine individuelle Kennlinie, welche das reale Verhalten der Zumesseinheit (130) repräsentiert, zu ermitteln und/oder die Zumesseinheit mit der individuellen Kennlinie anzusteuern.

R.306438-1

5 02.02.2004 WKL/GGA  
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren und Steuergerät zum Betreiben einer  
Brennkraftmaschine mit einem Einspritzventil

Zusammenfassung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein Computerprogramm  
und Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit  
einem Einspritzsystem, insbesondere für ein Kraftfahrzeug.  
Bei dem Einspritzsystem wird Kraftstoff von einer  
Zumesseinheit (130) und einer Hochdruckpumpe (140) in einen  
20 Kraftstoffspeicher (150) gefördert. Der Druck in dem  
Kraftstoffspeicher wird erfasst und durch Ansteuerung der  
Zumesseinheit (130) durch das Steuergerät (180) geregelt.  
Um bei dieser, soweit bekannten, Anordnung auch eventuelle  
Fertigungstoleranzen einzelner Zumesseinheiten (130) bei  
25 der Regelung des Druckes in dem Kraftstoffspeicher (150) zu  
berücksichtigen und die Regelung auf diese Weise präziser  
zu machen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, eine  
individuelle Kennlinie (iKL) für die jeweils aktuell  
verwendete Zumesseinheit (130) zu ermitteln und bei der  
30 Druckregelung zu berücksichtigen. (Figur 1)

Fig. 1

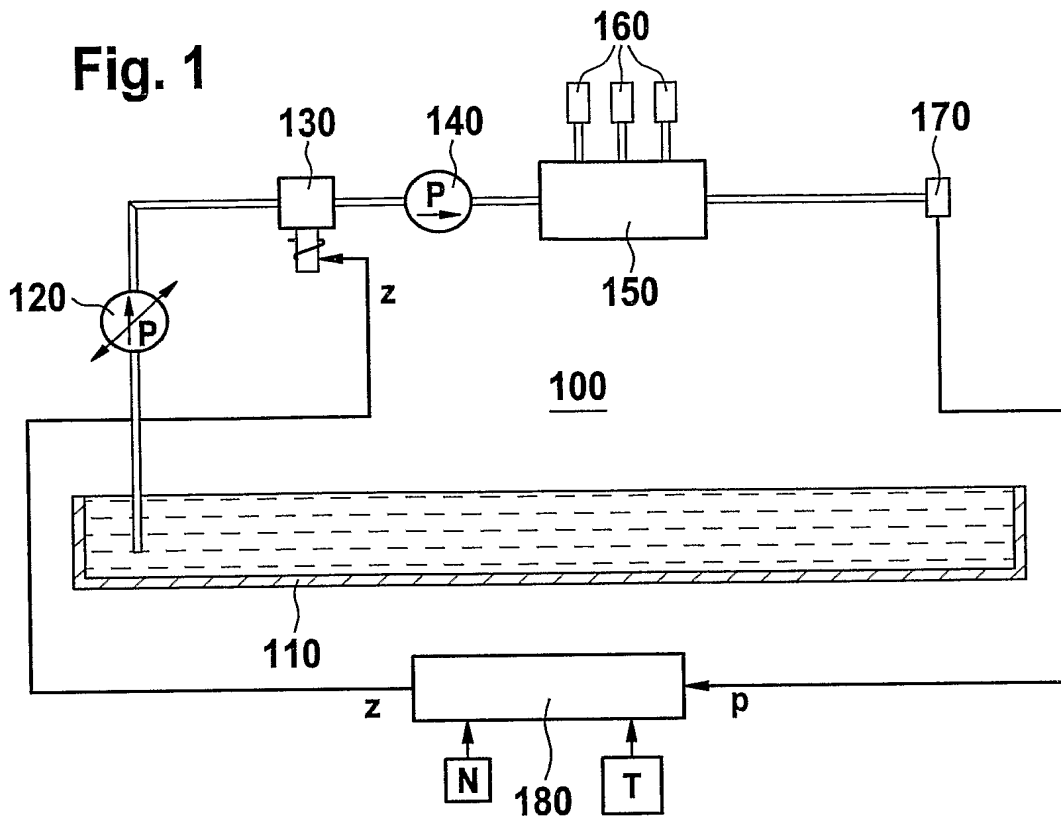
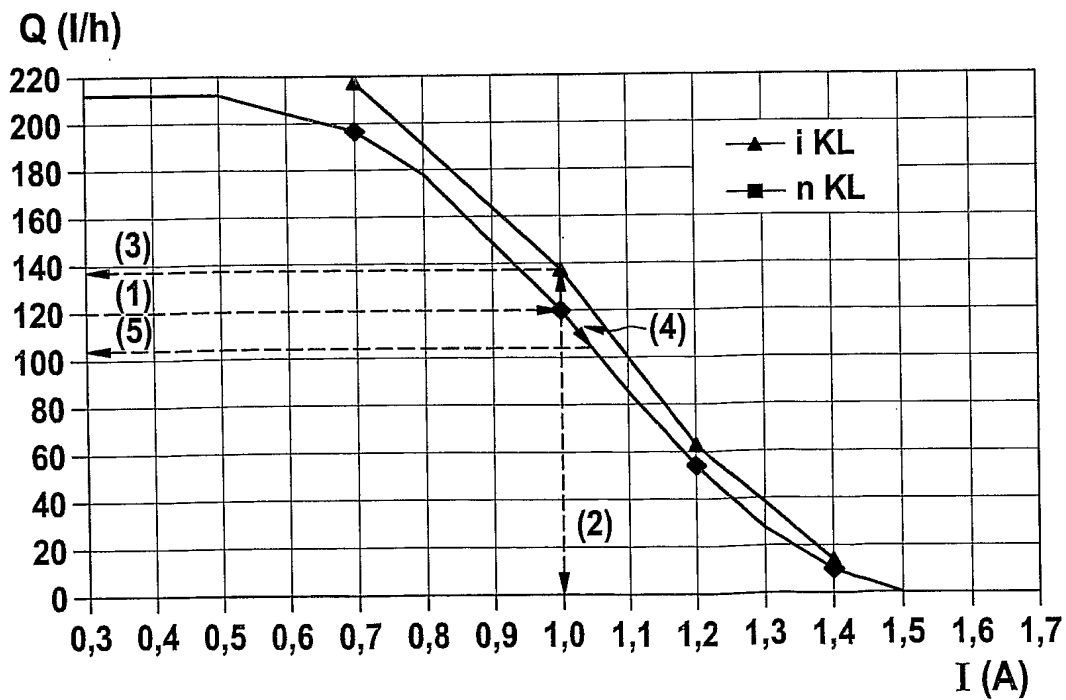


Fig. 2





2 / 4

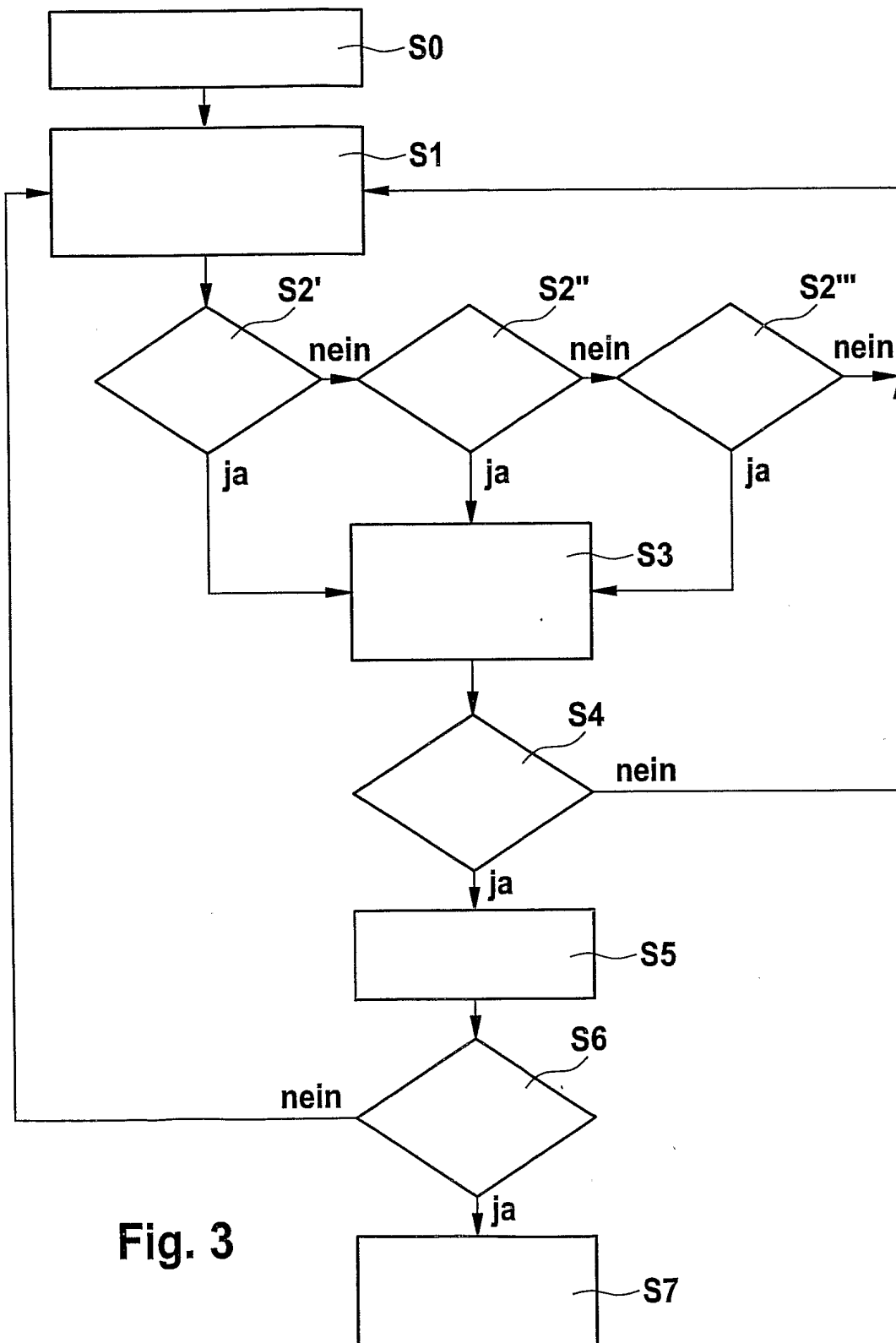


Fig. 3

Fig. 4

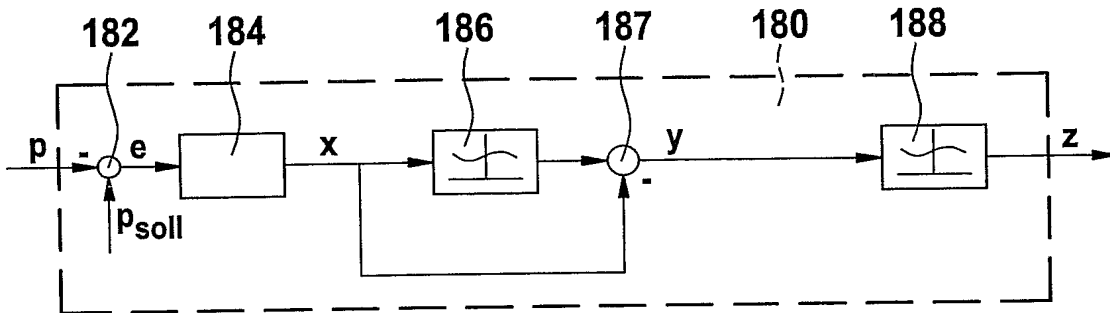
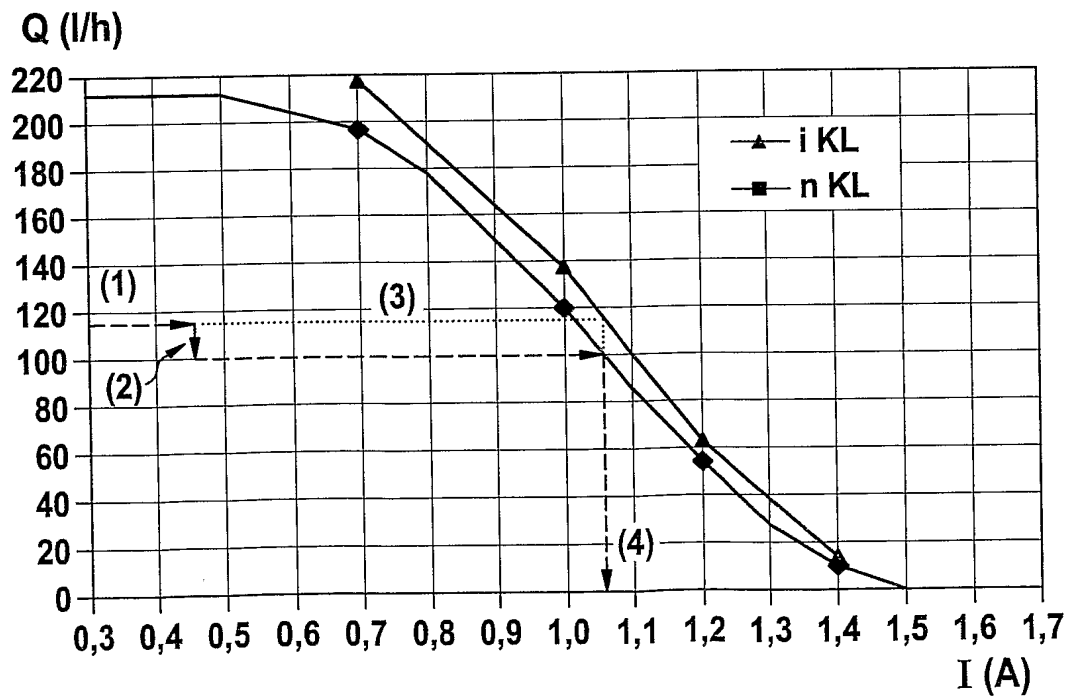


Fig. 5



4 / 4

Fig. 6

